



P802770/wol/h

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 199 05 462 A 1

51 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
F 02 M 59/02

21 Aktenzeichen: 199 05 462.2  
22 Anmeldetag: 10. 2. 99  
43 Offenlegungstag: 26. 8. 99

DE 199 05 462 A 1

30 Unionspriorität:  
09/021296 10. 02. 98 US  
71 Anmelder:  
Cummins Engine Co., Inc., Columbus, Ind., US  
74 Vertreter:  
Patentanwälte Gesthuysen, von Rohr, Weidener,  
Häkel, 45128 Essen

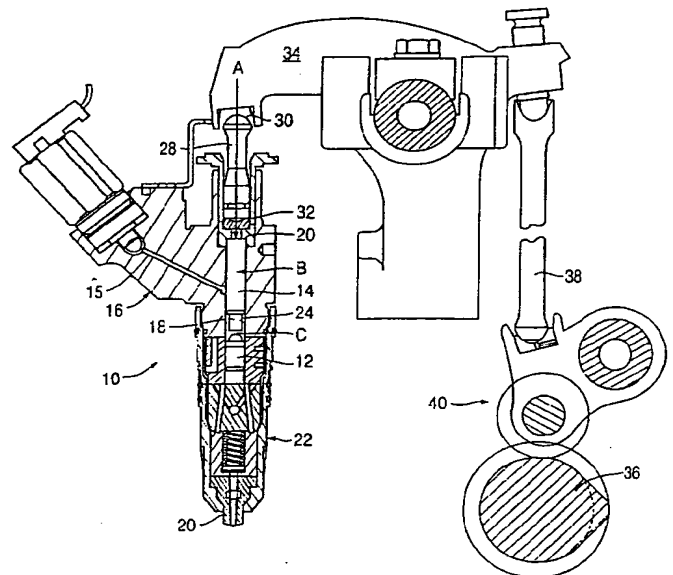
72 Erfinder:  
Hickey, Dan K., Greenwood, Ind., US; Perr, J. Victor,  
Greenwood, Ind., US; Rix, David M., Columbus,  
Ind., US; Bentz, Joseph C., Columbus, Ind., US;  
Yonushonis, Thomas M., Columbus, Ind., US;  
Naylor, Malcolm G., Columbus, Ind., US;  
Shinosawa, Katsuhiko, Tokio/Tokyo, JP; Carroll III,  
John T., Columbus, Ind., US

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Keramischer Plungerkolben für ein Hochdruckkraftstoffsystem eines Innenverbrennungsmotors

57 Es wird ein abriebbeständiger und reibungsverschleiß-  
fester Plungerkolben zur Verwendung in Hochdruckkraft-  
stoffsystemkomponenten in Verbrennungsmotoren be-  
reitgestellt. Der Plungerkolben, der aus einer Keramik ho-  
her Wärmeausdehnung und hoher Härte mit einem Wär-  
meausdehnungskoeffizienten größer  $6 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  und einer  
Härte größer  $800 \text{ kg/mm}^2$  gebildet ist, hält ein gewünsch-  
tes, optimales, minimales Radialspiel aufrecht, während  
ein übermäßiger Kraftstoffleckverlust verhindert wird,  
und hält ohne Reibungsverschleiß und Festfressen unter  
den hohen axialen, seitlichen und Druck-Lasten bzw.  
-Kräften und bei Kraftstoffen unterschiedlicher Qualität,  
die in der Betriebsumgebung des Kraftstoffsystems vor-  
handen sind, eine effiziente Plungerkolbenfunktion auf-  
recht. Bevorzugte Keramiken hoher Wärmeausdehnung  
und hoher Härte sind Zirkoniumdioxid, Aluminiumoxid-  
Zirkoniumdioxid und Aluminiumoxid.



DE 199 05 462 A 1

und einen reibungsverschleißfesten bzw. gegen Pressen widerstandsfähigen Plungerkolben für ein Hochdruckkraftstoffsystem für einen Verbrennungsmotor zu schaffen, der von Kraftstoffen unterschiedlicher Qualität angetrieben wird, insbesondere Kraftstoffen mit unterschiedlichen Graden an Schmierfähigkeit, einen hin- und hergehenden Plungerkolben in einem Hochdruckkraftstoffsystem zu schaffen, der aus einem abrieb- und reibungsverschleißfesten bzw. gegen Pressen widerstandsfähigen, keramischen Werkstoff hergestellt ist und in bezug auf die Bohrung, in welcher er sich hin- und herbewegt, so dimensioniert ist, daß ein optimales, minimales Radialspiel während des Kraftstoffsystembetriebs über einen weiten Bereich von Betriebstemperaturen aufrechterhalten wird, einen Hochdruckkraftstoffsystemplungerkolben für einen Dieselmotor zu schaffen, der zu einem zuverlässigen, reibungsverschleißfreien Betrieb bei minimalem Radialspiel in Gegenwart hoher axialer und/oder seitlicher Kräfte auf dem Plungerkolben imstande ist, und/oder einen zuverlässigen, wartungsfreien Plungerkolben für ein Hochdruckkraftstoffsystem eines Verbrennungsmotors zu schaffen.

Die obengenannte Aufgabe wird gemäß einem der unabhängigen Ansprüche gelöst. Bevorzugte Ausführungsbeispiele sind Gegenstand der Unteransprüche.

Es ist ein Aspekt der vorliegenden Erfindung, einen abrieb- und reibungsverschleißfesten bzw. gegen Pressen widerstandsfähigen Plungerkolben für ein Hochdruckkraftstoffsystem eines Verbrennungsmotors zu schaffen, der aus einer Zirkoniumdioxid-, Aluminiumoxid-Zirkoniumdioxid- oder Aluminiumoxid-Keramik mit einer Härte größer  $800 \text{ kg/mm}^2$  und einer Wärmeausdehnungskoeffizienten größer  $6 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$  hergestellt ist.

Es ist ein weiterer Aspekt der vorliegenden Erfindung, einen keramischen Plungerkolben für ein Hochdruckkraftstoffsystem eines Verbrennungsmotors zu schaffen, der aus umwandlungsgehärtetem Zirkoniumdioxid besteht.

Es ist ein weiterer Aspekt der vorliegenden Erfindung, einen abrieb- und reibungsverschleißfesten bzw. gegen Pressen widerstandsfähigen, keramischen Plungerkolben für ein Hochdruckkraftstoffsystem eines Verbrennungsmotors zu schaffen, der die Lackansammlung bzw. Überzugbildung vermeidet, die mit Kraftstoffsystemplungerkolben aus Metall zusammenhängt.

Es ist ein weiterer Aspekt, einen reibungsverschleißfesten bzw. gegen Pressen widerstandsfähigen und abriebbeständigen Plungerkolben für eine Hochleistungskraftstoffsystempumpe zum direkten oder indirekten Zuleiten von Hochdruckkraftstoff zu den Zylindern in einem Verbrennungsmotor zu schaffen, wobei der Plungerkolben betriebsbereit zur Hin- und Herbewegung mit einem minimalen, optimalen Radialspiel von 76 bis 128 Millionstel eines Inch in einer axialen Bohrung des Kraftstoffsystempumpenkörpers angeordnet ist, um ein gesteuertes Volumen von eingeschlossenem Hochdruckkraftstoff in gewünschten Intervallen direkt oder indirekt an einen oder mehrere Motorzylinder abzugeben, wobei der Plungerkolben aus einem abriebbeständigen keramischen Werkstoff hoher Härte und hoher Wärmeausdehnung hergestellt ist, mit einem Wärmeausdehnungskoeffizienten größer  $6 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$  und einer Härte größer  $800 \text{ kg/mm}^2$ , und der Plungerkolben in bezug auf die axiale Bohrung so dimensioniert ist, daß das optimale Radialspiel mit dieser aufrechterhalten wird, so daß er sich frei in der Bohrung hin- und herbewegt, ohne sich während des Betriebs der Kraftstoffsystempumpe festzufressen.

Die vorangehenden Aufgaben werden vorzugsweise durch Bereitstellen eines Hochdruckkraftstoffsystemplungerkolbens zur Verwendung in Pumpeinheiten eines Hochdruckspeichers und anderen Kraftstoffsystemen in Verbren-

nungsmotoren gelöst, der abriebbeständig und reibungsverschleißfest ist und ein ausreichendes minimales Radialspiel in der Bohrung, in welcher er positioniert ist, aufrechterhält, so daß sich der Plungerkolben selbst unter ungünstigen Motorbetriebsbedingungen frei, ohne festzufressen, hin- und herbewegen kann. Der Plungerkolben ist aus einem reibungsverschleißfesten keramischen Werkstoff mit einer hohen Härte von größer  $800 \text{ kg/mm}^2$  und einem Wärmeausdehnungskoeffizienten größer  $6 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$  gebildet und so dimensioniert, daß ein optimales, minimales Arbeitsspiel von 76 bis 128 Millionstel eines Inch mit der Wand der Bohrung, in welcher er sich hin- und herbewegt, geschaffen wird, um einen Kraftstoffleckverlust um den Plungerkolben während des Motorbetriebs zu verhindern.

Andere Aufgaben und Vorteile gehen aus der folgenden Beschreibung, den Ansprüchen und der Zeichnung hervor. Die Zeichnung zeigt:

Fig. 1 eine schematische Schnittansicht einer Hochdruckkraftstoffinjektoranordnung in einem Dieselmotor, wobei sowohl ein Zeitsteuerplungerkolben als auch ein Dosierplungerkolben reibungsverschleißfeste, nicht festfressende Plungerkolben sind, die aus Keramik gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellt sind;

Fig. 2 ein Druckspeicherungspumpensystem eines Motor-kraftstoffsystems, das keramische Pumpenkolben gemäß der vorliegenden Erfindung enthält;

Fig. 3a-c elektromagnetisch gesteuerte Kraftstoffverteilerpumpen mit keramischen Pumpenkolben gemäß der vorliegenden Erfindung;

Fig. 4a, b zwei Ansichten einer Hochdruckkraftstoffverteilerpumpe mit keramischen Pumpenkolben gemäß der vorliegenden Erfindung;

Fig. 5 die Änderungen in den Dimensionen einer Kraftstoffinjektorkörperbohrung und des Zeitsteuerplungerkolbens von Fig. 1 für verschiedene Werkstoffe bei verschiedenen Temperaturen;

Fig. 6 einen Vergleich in graphischer Form eines Kraftstoffleckverlustes für einen Plungerkolben, der aus Metall gebildet ist, und einen Plungerkolben, der aus Keramik gemäß der vorliegenden Erfindung gebildet ist, in einem Kraftstoffinjektor bei hohem Einspritzdruck;

Fig. 7 einen visuellen Qualitätsvergleich von Plungerkolben, die aus Keramiken von zwei Quellen hergestellt sind, und Plungerkolben, die aus Stahl hergestellt sind, nach einem ausgedehnten Kontakt mit einem Fluid mit geringer oder keiner Schmierfähigkeit; und

Fig. 8a, b die Häufigkeit von Injektoreinheitsreparaturen pro Hundert für zwei verschiedene Arten von Verbrennungsmotoren vor und nach dem Einbau der keramischen Zeitsteuerplungerkolben gemäß der vorliegenden Erfindung.

Der effiziente Betrieb eines Hochdruckkraftstoffsystems erfordert, daß sich die Plungerkolben in dem System frei hin- und herbewegen, ohne Reibungsverschleiß und Festfressen, während ein minimales Radialspiel mit den Bohrungen aufrechterhalten wird, in welchen sich die Plungerkolben hin- und herbewegen. Der Reibungsverschleiß und das Festfressen von Kraftstoffsystemplungerkolben ist eine Ursache hoher Kraftstoffsystemreparaturen, die für gewöhnlich als RPH oder Reparaturen pro Hundert ausgedrückt werden. Zusätzlich sind hohe Garantie- und Reparaturkosten die Folge des Austausches schadhafter oder betriebsunfähiger Kraftstoffsystemplungerkolben. Der Hochdruckkraftstoffsystemplungerkolben der vorliegenden Erfindung ist ein zuverlässiger, abriebbeständiger Plungerkolben, der kein Festfressen und keinen Reibungsverschleiß erfährt, selbst wenn er äußerst ungünstigen Motorbedingungen und Kraftstoffen mit geringer Schmierfähigkeit ausge-

jektorkörper 16 hin- und herbewegt, kann bis zu 2400 Pfund betragen. Zusätzlich zu diesen axialen und seitlichen Lasten werden so hohe Drücke wie 24 500 psi und mehr durch den Abwärtshub des Zeitsteuerplungerkolbens erzeugt, wenn er sich zu der Injektordüse 20 bewegt. Dadurch wird der Kraftstoff, der in dem Hohlraum zwischen dem Zeitsteuer- und Dosierplungerkolben eingeschlossen ist, mit Druck beaufschlagt, und führt zu einer Last von 24 500 psi oder mehr, die auf den Zeitsteuerplungerkolben 14 in eine nach oben gerichtete axiale Richtung und auf den Dosierplungerkolben 12 in eine nach unten gerichtete axiale Richtung wirkt. Wie in Fig. 1 dargestellt, wird dieser Druck auf die gesamte Fläche des Zeitsteuerplungerkolbens 14 ausgeübt, einschließlich der Fläche des Zeitsteuerplungerkolbenfortsatzes 18.

Der keramische Zeitsteuerplungerkolben 14 ist in bezug auf den Durchmesser der Injektorkörperbohrung 24 so dimensioniert, daß ein optimales, minimales Radialspiel erhalten wird. Vorzugsweise liegt dieses Radialspiel im Bereich von 76–128 Millionstel (0,000076–0,000128) eines Inch (1,93 bis 3,25 Mikron). Das Radialspiel kann aufgrund von Unterschieden in der Wärmeausdehnung zwischen dem gegenwärtig verfügbaren Plungerkolben aus rostfreiem Stahl und dem keramischen Zeitsteuerplungerkolben 14 der vorliegenden Erfindung geringer als jenes von bisher bekannten Plungerkolbenkonstruktionen sein. Die obengenannten Lasten auf dem Zeitsteuerplungerkolben und die Klemmkraft auf dem Injektorkörper 16 verformen häufig die axiale Bohrung, wodurch das Radialspiel verringert wird. Die durch den Kipphebel erzeugte seitliche Last (Pfeil B) preßt dann den Zeitsteuerplungerkolben 14 gegen die Wand der Bohrung 24. Unter solchen Umständen kommt es zu einem Reibungsverschleiß bzw. Fressen und Abrieb des Plungerkolbens. Die Gegenwart von Abriebspartikeln eines dritten Körpers in der Injektorkörperbohrung kompliziert die Plungerkolbenprobleme unter diesen Lasten.

Sowohl der Zeitsteuerplungerkolben 14 als auch der Dosierplungerkolben 12 der Plungerkolbenanordnung von Fig. 1 sind denselben Arten und Graden axialer und seitlicher Lasten ausgesetzt. Zusätzlich muß das Radialspiel zwischen dem Zeitsteuerplungerkolben 14 und der Wand der axialen Bohrung 24 und zwischen dem Dosierplungerkolben 12 und der Wand der axialen Bohrung 24 so klein wie möglich sein, um einen übermäßigen Fluidleckverlust zu vermeiden. Wie zuvor besprochen, ist ein Radialspiel in der Größenordnung von 76 bis 128 Millionstel eines Inch für beide Plungerkolben wünschenswert. Die Bildung sowohl des Dosierplungerkolbens als auch des Zeitsteuerplungerkolbens aus einer Keramik hoher Wärmeausdehnung gemäß der vorliegenden Erfindung ermöglicht die Aufrechterhaltung dieses sehr kleinen Radialspiels unter den hohen axialen und seitlichen Lasten, die während des Injektorbetriebs auftreten, ohne Reibungsverschleiß, selbst in Gegenwart von minderwertigen Kraftstoffen mit geringer Schmierfähigkeit.

Fig. 2 zeigt ein Druckspeicherkraftstoffpumpensystem 50 jener Art, die in der WO 94/27041 mit dem Titel "Compact High Performance Fuel System" dargestellt ist, dessen Offenbarung hiermit als Referenz eingeführt wird. Dieses Kraftstoffeinspritzsystem vom Druckspeicherpumpentyp umfaßt eine Verteilervorrichtung, d. h., einen drehenden Verteiler, die stromabwärts eines Hochdruckspeichers zur Verteilung von Kraftstoffimpulsen an jeden Injektor über getrennte Abgabelungen angeordnet ist, und eine Zeitsteuer- und Dosiervorrichtung, die entlang dem Kraftstoffkreis zwischen dem Druckspeicher und der Verteilervorrichtung zur Bestimmung der Zeitsteuerung und Dosierung der Einspritzung angeordnet ist. Eine Hochdruckkraftstoffpumpe arbeitet, um den Kraftstoff in dem Druckspeicher bei einem äußerst hohen Druck zum Einspritzen in den Motor

zu halten. Die Hochdruckpumpe umfaßt zwei Pumpeneinheiten 52 und 54, von welchen jede einen Pumpenkolben 56 beziehungsweise 58 umfaßt, die zur Hin- und Herbewegung bei einem optimalen, minimalen Radialspiel in einer entsprechenden Bohrung 60, 62 angeordnet sind, die in einem Pumpenzylinder ausgebildet sind, der an den Druckspeicher angeschlossen ist. Jeder Pumpenkolben wird durch eine Nockenwelle 64 und eine entsprechende Stößelanordnung 66, 68 angetrieben, die zwischen dem Plungerkolben 56, 58 und einer Nocke 70, 72 an der Nockenwelle 64 angeordnet ist. Das offenbarte System wurde gemäß der vorliegenden Erfindung durch die Verwendung keramischer Pumpenkolben 56, 58 modifiziert. Die Pumpenkolben 56, 58 müssen sich in entsprechenden axialen Bohrungen 60, 62 hin- und herbewegen, so daß Kraftstoff bei sehr hohem Druck in einen Hochdruckspeicher 74 in einer ausreichenden Menge, um einen gewünschten Druck in dem Druckspeicher aufrechtzuerhalten, und in einen Niederdruckspeicher 76 gepumpt wird. Die Pumpenkolben dieser Art von System müssen den gesamten Kraftstoff, der zur Versorgung aller Zylinder eines Motors notwendig ist, zuführen und müssen daher unter Umständen den Kraftstoff für drei oder mehr Zylinder zuführen. Die Aufrechterhaltung eines ausreichenden Drucks (z. B. 30 000 psi oder mehr) innerhalb des Hochdruckspeichers 74 ist für einen zufriedenstellenden Betrieb des Systems wesentlich. Ein Versagen einer der Pumpeinheiten könnte eine ernsthafte Funktionsstörung des Kraftstoffsystems verursachen. Notwendig ist daher ein vorhersagbarer, zuverlässiger Betrieb jeder Pumpeinheit über ausgedehnte Zeiträume, ohne Wartungs- oder Reparaturschritte vornehmen zu müssen. Die Verwendung von keramischen Pumpenkolben der vorliegenden Art mit einem knappen Radialspiel innerhalb der Bohrung, in welcher sie eingebaut sind, kann dazu beitragen, diese Anforderung zu erfüllen. Kraftstoff, der in dem Druckspeicher gespeichert ist, wird von dieser Art von Kraftstoffsystempumpe zu Einspritzdüsen verteilt, die an jedem Zylinder des Motors angeordnet sind. Zusätzliche Pumpeinheiten, die identische keramische Pumpenkolben enthalten, die zur Hin- und Herbewegung in einer axialen Bohrung angeordnet sind, können auch in dem System von Fig. 2 enthalten sein. Wie bei dem in Fig. 1 dargestellten Kraftstoffinjektor müssen sich die Plungerkolben 56 und 58 in entsprechenden axialen Bohrungen 60 und 62 hin- und herbewegen, im Idealfall bei einem minimalen Radialspiel, das einen Kraftstoffleckverlust bei einem optimalen minimalen Wert hält, um Hochdruckkraftstoff in den Hochdruckspeicher 74 abzugeben, wie für den Motorbetrieb verlangt ist. Die Verwendung einer Keramik, wie hierin offenbart, zur Bildung der Pumpenkolben 56 und 58 beseitigt im wesentlichen das Fressen bzw. den Reibungsverschleiß, der durch die hohen seitlichen Lasten auf den Plungerkolben verursacht wird.

Die Fig. 3a, 3b und 3c zeigen zwei Arten von Kraftstoffverteilerpumpen, die durch ein Elektromagnetventil gesteuert werden. Diese Pumpen sind in dem SAE Paper 945015 mit dem Titel Bosch Diesel Distributor Injection Pump Systems – Modular Concept and Further Development beschrieben, dessen Offenbarung hiermit als Referenz eingeführt wird.

Die in Fig. 3a dargestellte Verteilerpumpe 60 ist eine Kraftstoffverteilerpumpe der durch ein Elektromagnetventil gesteuerten Axialkolbenart. Diese Art von Pumpe verwendet ein zeitgesteuertes Kraftstoffdosiersystem und erzeugt düsenseitige Injektordrücke im Bereich von etwa 13 000 bis 14 000 psi. Ein Hochdruck-Elektromagnetventil 62 ist zur Kraftstoffdosierung vorgesehen. Diese Art von Pumpe enthält auch ein Elektromagnetventil 64 einer Zeitsteuerungsvorrichtung, das einen Kolben 66 einer Zeitsteuerungsvor-

gen, die in einer Arbeitsumgebung eines Kraftstoffsystems herrschen, zu arbeiten, nicht verfügbar. Die vorliegende Erfindung stellt eine Plungerkolbenanordnung für ein Kraftstoffsystem eines Verbrennungsmotors mit einer deutlich höheren Beständigkeit gegenüber einem Reibungsverschleiß und Festfressen als die gegenwärtigen verwendeten Plungerkolben bereit. Es wurde entdeckt, daß die Bildung des Plungerkolbens aus einem harten, abriebbeständigen, keramischen Werkstoff die Probleme mit dem Reibungsverschleiß und Festfressen vermeidet, die Stahl und andere Metallplungerkolben geplagt haben, und zusätzlich den axialen und seitlichen Lasten, die auf Plungerkolben eines Hochdruckkraftstoffsystems während des Motorbetriebs ausgeübt werden, erfolgreicher als verfügbare Plungerkolben widersteht. Ein keramischer Plungerkolben weist viele Vorteile auf. Die Arten von keramischen Werkstoffen, die sich für Kraftstoffsystemplungerkolben gemäß der vorliegenden Erfindung als zweckdienlich erwiesen haben, sind viel härter als die Werkstoffe, die gegenwärtig entweder für den Plungerkolben oder die Kraftstoffsystemkomponente verwendet werden, welche die Bohrung umgibt, die den Plungerkolben enthält. Ferner weist der bevorzugte keramische Werkstoff für den Plungerkolben eine geringe Reaktionsfähigkeit und eine geringe Verschweißungsaffinität mit ölgeschmierten Metallgegenflächen auf. Es muß jedoch für die optimale Oberflächenbearbeitung an dem Keramikplungerkolben für das beste Gleitabtriebsverhalten gesorgt werden.

Es hat sich gezeigt, daß Plungerkolben eines Hochdruckkraftstoffsystems, die aus Keramiken hoher Härte und hoher Wärmeausdehnung, einschließlich Zirkoniumdioxid, Aluminiumoxid-Zirkoniumdioxid und Aluminiumoxid, hergestellt werden, eine signifikant bessere Reibungsverschleißfestigkeit aufweisen als Plungerkolben, die aus Metall hergestellt sind. Obwohl andere Keramiken, insbesondere Siliziumnitrid, auch eine bessere Reibungsverschleißfestigkeit aufweisen, hat sich gezeigt, daß nur Keramiken mit hoher Wärmeausdehnung zur Verwendung in der Bildung von Plungerkolben eines Hochdruckkraftstoffsystems geeignet sind. Eine besondere wirksame Keramik für diesen Zweck ist ein stabilisiertes Zirkoniumdioxid, das als umwandlungsgehärtetes Zirkoniumdioxid bekannt ist. Diese Zirkoniumdioxidkeramik ist vorzugsweise mit Magnesiumoxid, Calciumoxid, Ceroxid und/oder Yttriumoxid stabilisiert. Da die bevorzugte Zirkoniumdioxidkeramik die Bohrungen, in welchen sich Plungerkolben, die aus dieser Zirkoniumdioxidkeramik gebildet sind, hin- und herbewegen, nicht abreißt, können die Bohrungen ohne Überholung wiederverwendet werden. Stabilisierte Zirkoniumdioxidkeramiken mit einer Härte größer  $800 \text{ kg/mm}^2$  (1000 auf der Knoop-Skala) und einer Wärmeausdehnungszahl größer  $6 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$  sind von Coors Ceramic Co. und Kyocera Fine Ceramics erhältlich.

Das Erreichen eines optimalen, minimalen Kraftstoffleckverlustes um den Plungerkolben während des Motorbetriebs ist kritisch. Da Keramiken mit geringer Wärmeausdehnung einen übermäßigen Leckverlust ermöglichen, sind nur Keramiken mit hoher Wärmeausdehnung imstande, einen Kraftstoffleckverlust innerhalb annehmbarer oder gar gewünschter Parameter zu halten. Die bevorzugten Keramikwerkstoffe sind jene mit einem Wärmeausdehnungskoeffizienten größer  $6 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$ , vorzugsweise 9 bis  $11 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$ , und einer Härte von mehr als  $800 \text{ kg/mm}^2$ , vorzugsweise 900 bis  $1200 \text{ kg/mm}^2$ . Der rostfreie Stahl, der gegenwärtig zur Bildung von Plungerkolben eines Hochdruckkraftstoffsystems verwendet wird, dehnt sich während des Kraftstoffsystembetriebs mit einer höheren Rate aus als das bevorzugte keramische Werkstoff. Daher kann der Abstand zwischen dem Außendurchmesser des Plungerkolbens und der Bohrungs-

wand geringer sein, wenn ein Keramikplungerkolben verwendet wird, wodurch der Kraftstoffleckverlust aus dem Zwischenraum um den Plungerkolben noch weiter minimiert wird. Die Wärmeausdehnungszahl der Keramik, die für den Plungerkolben gewählt wird, sollte vorzugsweise so knapp wie möglich an jene des Metalls angepaßt sein, das zur Bildung der Kraftstoffsystemkomponente verwendet wird, welche die Bohrung enthält, in der sich der Plungerkolben hin- und herbewegt, um einen im wesentlichen konstanten Zwischenraum oder Spalt um den Plungerkolben während des Kraftstoffsystembetriebs aufrechtzuerhalten.

Fig. 5 vergleicht die Durchmesser der Injektorkörperbohrung 24 (Fig. 1) mit den Durchmessern eines Zeitsteuerplungerkolbens aus Metall, der gegenwärtig in Verwendung ist, und zwei keramischen Plungerkolben mit unterschiedlichem Radialspiel über einen Bereich von Motorbetriebstemperaturen. Die Kurve A stellt den Durchmesser der Injektorkörperbohrung über den untersuchten Temperaturbereich dar. Der Injektorkörper wurde aus Stahl gebildet. Die Kurve B zeigt die Änderungen im Plungerkolbendurchmesser, wenn der Zeitsteuerplungerkolben 14 aus rostfreiem Stahl gebildet ist, der den gegenwärtig verwendeten Werkstoff darstellt. Das Radialspiel zwischen dem Zeitsteuerplungerkolben aus Stahl und der Injektorbohrung betrug in der getesteten Anordnung 5,0 Mikron. Die Kurven C und D zeigen diametrale Änderungen im Durchmesser des Zeitsteuerplungerkolbens für zwei keramische Zeitsteuerplungerkolben bei unterschiedlichem Radialspiel mit dem Injektorkörper. Das Radialspiel zwischen dem keramischen Zeitsteuerplungerkolben und der Bohrung für die Anordnung, die durch die Kurve C dargestellt ist, betrug 2,5 Mikron, während der Zwischenraum für die keramische Zeitsteuerplungerkolbenanordnung der Kurve D 5,0 Mikron betrug, gleich dem Spiel zwischen dem Stahlplungerkolben und dem Injektorkörper. Mit zunehmender Temperatur erweiterte sich der Durchmesser des keramischen Plungerkolbens mit einer geringeren Rate als der Stahlplungerkolben. Dadurch wird die Häufigkeit eines Kontakts zwischen dem Plungerkolben und der Bohrungswand und somit eines Reibungsverschleißes minimiert. Fig. 5 zeigt deutlich, daß ein keramischer Zeitsteuerplungerkolben gemäß der vorliegenden Erfindung ein geringeres Radialspiel in der Injektorbohrung aufweisen kann als der gegenwärtig verwendete Stahlplungerkolben und dennoch effektiv in Gegenwart der hohen axialen und seitlichen Lasten bzw. Kräfte funktionieren kann, die während des Motorbetriebs auf den Zeitsteuerplungerkolben ausgeübt werden.

Fig. 6 vergleicht den Kraftstoffleckverlust um den Zeitsteuerplungerkolben in einem Kraftstoffinjektor der Art, die in Fig. 1 dargestellt ist, der bei einem Einspritzdruck von 34 ksi arbeitet, für einen keramischen Zeitsteuerplungerkolben gemäß der vorliegenden Erfindung und für einen Metallplungerkolben. Leckverlustwerte, die mehr als 5% Kraftstoff im Motoröl nach 250 Stunden verursachen, werden als übermäßig angesehen. Der keramische Plungerkolben wurde aus einer stabilisierten Zirkoniumdioxidkeramik mit einer Härte größer  $800 \text{ kg/mm}^2$  und einer normierten Wärmeausdehnung von 0,67 gebildet, und hatte ein Radialspiel von 3,2 Mikron mit der Injektorbohrungswand. Der Metallplungerkolben wurde aus einem Stahl gebildet, der als 501 Stahl bekannt ist, mit einer Härte von  $850\text{--}900 \text{ kg/mm}^2$  und einer normierten Wärmeausdehnung von 0,89, und hatte ein Radialspiel von 4,0 Mikron mit der Injektorbohrungswand. Der Unterschied im Zwischenraum war erforderlich, um den Spalt zwischen dem Plungerkolben und der Bohrungswand für die beiden Werkstoffe während des Injektorbetriebs äquivalent zu machen. Da sich die Keramik viel weniger ausdehnt als das Metall, wäre der Leckverlust bei dem kera-

ken, unter hohen axialen und seitlichen Lasten bzw. Kräften und in Gegenwart von minderwertigen Kraftstoffen mit ver-  
ringerter Schmierfähigkeit effizient arbeiten kann.

Der reibungsverschleißfeste bzw. gegen Fressen wider-  
standsfähige, keramische Plungerkolben der vorliegenden  
Erfindung findet primär als integrierte Komponente in einem  
Hochdruckkraftstoffsystem, sobald ein Plungerkolben oder  
Kolben sich mit geringem Spiel in einer Bohrung hin- und  
herbewegen soll, in einem weiten Bereich von Verbren-  
nungsmotortypen Anwendung, einschließlich der Motoren  
mit mittlerer und hoher Leistung und anderer Arten von  
Kompressionszündungs- oder Dieselmotoren.

Es wird ein abriebbeständiger und reibungsverschleiß-  
fester Plungerkolben zur Verwendung in Hochdruckkraftstoff-  
systemkomponenten in Verbrennungsmotor bereitgestellt.  
Der Plungerkolben, der aus einer Keramik hoher Wärme-  
ausdehnung und hoher Härte mit einem Wärmeausdehnungs-  
koeffizienten von vorzugsweise größer  $6 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  und einer Härte von vorzugsweise größer  $800 \text{ kg/mm}^2$ , her-  
gestellt ist, hält ein gewünschtes, optimales, minimales Ra-  
dialspiel aufrecht, während ein übermäßiger Kraftstoffleck-  
verlust vermieden wird, und hält eine effiziente Plungerkol-  
benfunktion aufrecht, ohne unter den hohen axialen, seitli-  
chen und Druck-Lasten bzw. -Kräften und bei den Kraftstof-  
fen unterschiedlicher Qualität, die in der Betriebsumgebung  
des Kraftstoffsystems vorhanden sind, einen Reibungsver-  
schleiß oder ein Festfressen zu erfahren. Bevorzugte Kera-  
miken hoher Wärmeausdehnung und hoher Härte sind Zir-  
koniumdioxid, Aluminiumoxid-Zirkoniumdioxid und Alu-  
miniumoxid.

#### Patentansprüche

1. Reibungsverschleißfester und abriebbeständiger  
Plungerkolben für eine Hochleistungs-Kraftstoffsys-  
tempumpe zur direkten oder indirekten Zuleitung von  
Hochdruckkraftstoff zu den Zylindern in einem Ver-  
brennungsmotor, wobei der Plungerkolben zur Hin-  
und Herbewegung bei einem minimalen, optimalen  
Radialspiel von 76 bis 128 Millionstel eines Inch in ei-  
ner axialen Bohrung in dem Kraftstoffsystempumpen-  
körper betätigbar bzw. antreibbar angeordnet ist, um  
ein genau dosiertes Volumen von eingeschlossenem  
Hochdruckkraftstoff in gewünschten Intervallen direkt  
oder indirekt an einen oder mehrere Motorzylinder ab-  
zugeben, wobei der Plungerkolben aus einem abriebbe-  
ständigen Keramikwerkstoff hoher Härte und hoher  
Wärmeausdehnung mit einem Wärmeausdehnungskoeffi-  
zienten größer  $6 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  und einer Härte größer  
 $800 \text{ kg/mm}^2$  hergestellt ist und der Plungerkolben in  
bezug auf die axiale Bohrung so dimensioniert ist, daß  
das optimale Radialspiel mit dieser aufrechterhalten  
wird, so daß er sich frei, ohne festzufressen, in der Boh-  
rung während des Kraftstoffsystempumpenbetriebs  
hin- und herbewegt.
2. Plungerkolben nach Anspruch 1, wobei der Plun-  
gerkolben aus einer Keramik gebildet ist, die ausge-  
wählt ist aus der Gruppe bestehend aus Zirkoniumdi-  
oxid-, Aluminiumoxid-Zirkoniumdioxid- und Alumi-  
niumoxidkeramik mit einem Wärmeausdehnungskoeffi-  
zienten größer  $6 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  und einer Härte größer  
 $800 \text{ kg/mm}^2$ .
3. Plungerkolben nach Anspruch 1 oder 2, wobei der  
Plungerkolben aus einer umwandlungsgehärteten Zir-  
koniumdioxidkeramik gebildet ist.
4. Reibungsverschleißfester und abriebbeständiger  
Plungerkolben aus Zirkoniumdioxidkeramik hoher  
Wärmeausdehnung und hoher Härte für eine Kraft-

stoffsystemkomponente eines Verbrennungsmotors,  
wobei der Plungerkolben vollständig in einer axialen  
Bohrung in der Kraftstoffsystemkomponente zur direk-  
ten oder indirekten Abgabe einer ausgewählten Menge  
an Hochdruckkraftstoff an den Motorbrennraum betä-  
tigbar bzw. antreibbar angeordnet ist, und wobei der  
Zeitsteuerplungerkolben zur axialen Hin- und Herbe-  
wegung in der axialen Bohrung in der Kraftstoffsys-  
temkomponente unter einer hohen axialen Last bzw.  
Kraft und einer zusätzlichen seitlichen Last bzw. Kraft  
auf dem Plungerkolben imstande ist und in eine Boh-  
rung mit einem Radialspiel von 76 bis 128 Millionstel  
eines Inch innerhalb der axialen Bohrung eingebaut ist,  
um ein gewünschtes, optimales, minimales Radialspiel  
aufrechtzuerhalten, während ein übermäßiger Kraft-  
stoffleckverlust verhindert wird, und um ohne Rei-  
bungsver Verschleiß und Festfressen unter den hohen  
axialen, seitlichen und Druck-Lasten bzw. -Kräften und  
bei Kraftstoffen unterschiedlicher Qualität, die in der  
Betriebsumgebung des Kraftstoffsystems vorhanden  
sind, eine effiziente Plungerkolbenfunktion aufrechtzu-  
erhalten.

5. Plungerkolben nach Anspruch 4, wobei der Plun-  
gerkolben aus Zirkoniumdioxidkeramik einen Wärme-  
ausdehnungskoeffizienten größer  $6 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  und eine  
Härte größer  $800 \text{ kg/mm}^2$  aufweist.

6. Plungerkolben nach Anspruch 4 oder 5, wobei der  
Plungerkolben aus einer umwandlungsgehärteten Zir-  
koniumdioxidkeramik gebildet ist.

7. Kraftstoffinjektoreinheit zum Einspritzen von  
Hochdruckkraftstoff in einen Motorzylinder in einem  
Dieselmotor, wobei der Injektor eine Mehrzahl von  
axial angeordneten, durch einen Injektorzug bzw. ein  
Injektorgetriebe angetriebenen Plungerkolben umfaßt,  
die sich in einer axialen Bohrung in dem Injektor ohne  
Reibungsver Verschleiß hin- und herbewegen, wobei jeder  
Plungerkolben in eine Bohrung mit einem Radialspiel  
von 76 bis 128 Millionstel eines Inch innerhalb der  
axialen Bohrung eingebaut ist, um ein gewünschtes,  
optimales, minimales Radialspiel aufrechtzuerhalten,  
während ein übermäßiger Kraftstoffleckverlust verhin-  
dert wird, und um ohne Reibungsver Verschleiß und Fest-  
fressen unter den hohen axialen, seitlichen und Druck-  
Lasten bzw. -Kräften und bei Kraftstoffen unterschied-  
licher Qualität, die in der Betriebsumgebung des Kraft-  
stoffsystems vorhanden sind, eine effiziente Plunger-  
kolbenfunktion aufrechtzuerhalten, um ein genau do-  
siertes Volumen von eingeschlossenem Hochdruck-  
kraftstoff in gewählten Intervallen in den Zylinder ein-  
zuspritzen, wobei zumindest einer der Mehrzahl von  
Plungerkolben aus einer reibungsverschleißfesten Zir-  
koniumdioxidkeramik mit hoher Härte und hohem  
Wärmeausdehnungskoeffizienten gebildet ist.

8. Kraftstoffinjektoreinheit nach Anspruch 7, wobei  
ein Zeitsteuerplungerkolben, der zwischen einem An-  
triebsaufbau bzw. -gestänge des Injektorzugs- bzw. -  
getriebes und einem Dosierplungerkolben angeordnet  
ist, aus der Zirkoniumdioxidkeramik gebildet ist.

9. Kraftstoffinjektoreinheit nach Anspruch 8, wobei  
der Zeitsteuerplungerkolben und der Dosierplunger-  
kolben aus der Zirkoniumdioxidkeramik gebildet sind.

10. Kraftstoffinjektoreinheit nach einem der Ansprü-  
che 7 bis 9, wobei die Plungerkolben aus einer Kera-  
mik gebildet sind, die ausgewählt ist aus der Gruppe  
bestehend aus Zirkoniumdioxid-, Aluminiumoxid-Zir-  
koniumdioxid- und Aluminiumoxidkeramik mit einem  
Wärmeausdehnungskoeffizienten größer  $6 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$   
und einer Härte größer  $800 \text{ kg/mm}^2$ .

FIG. 1

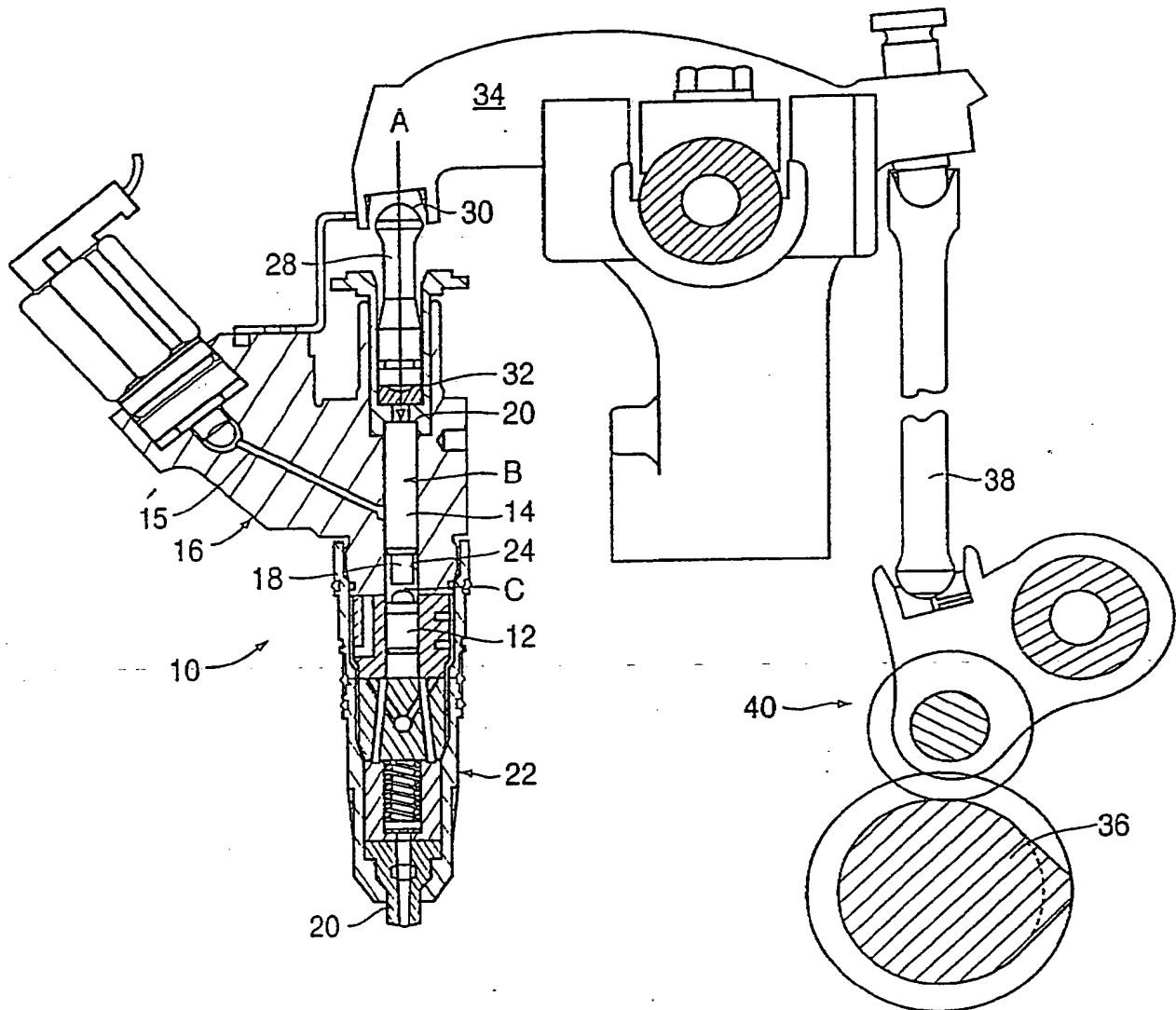
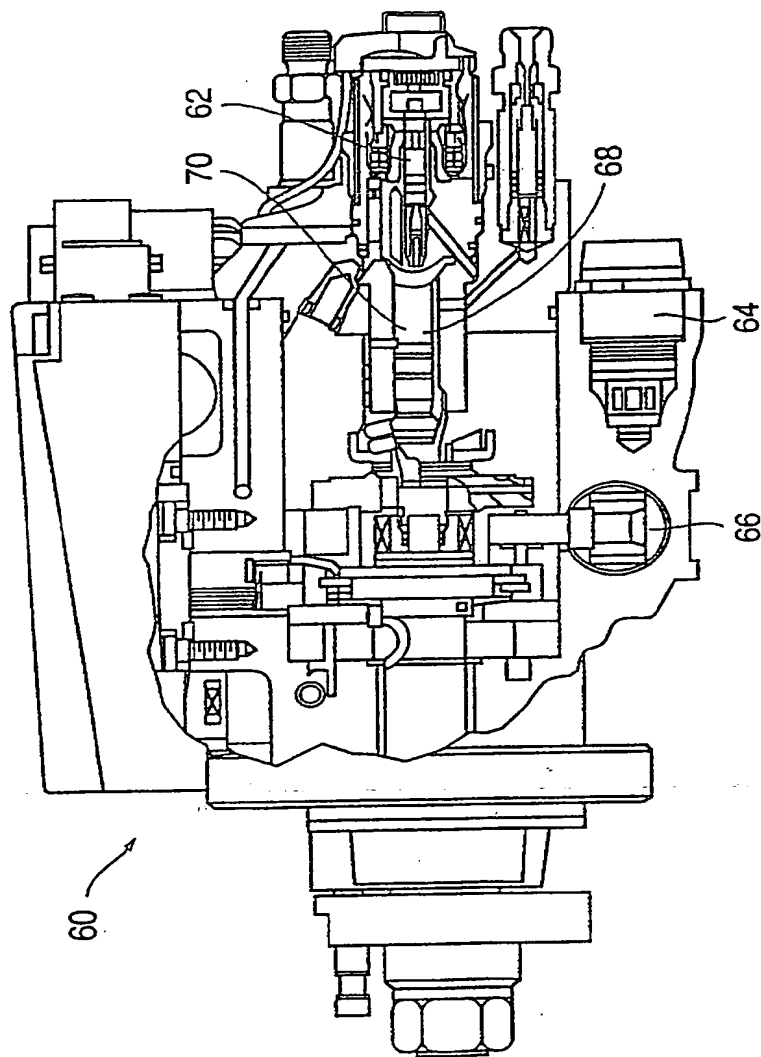


FIG. 3a



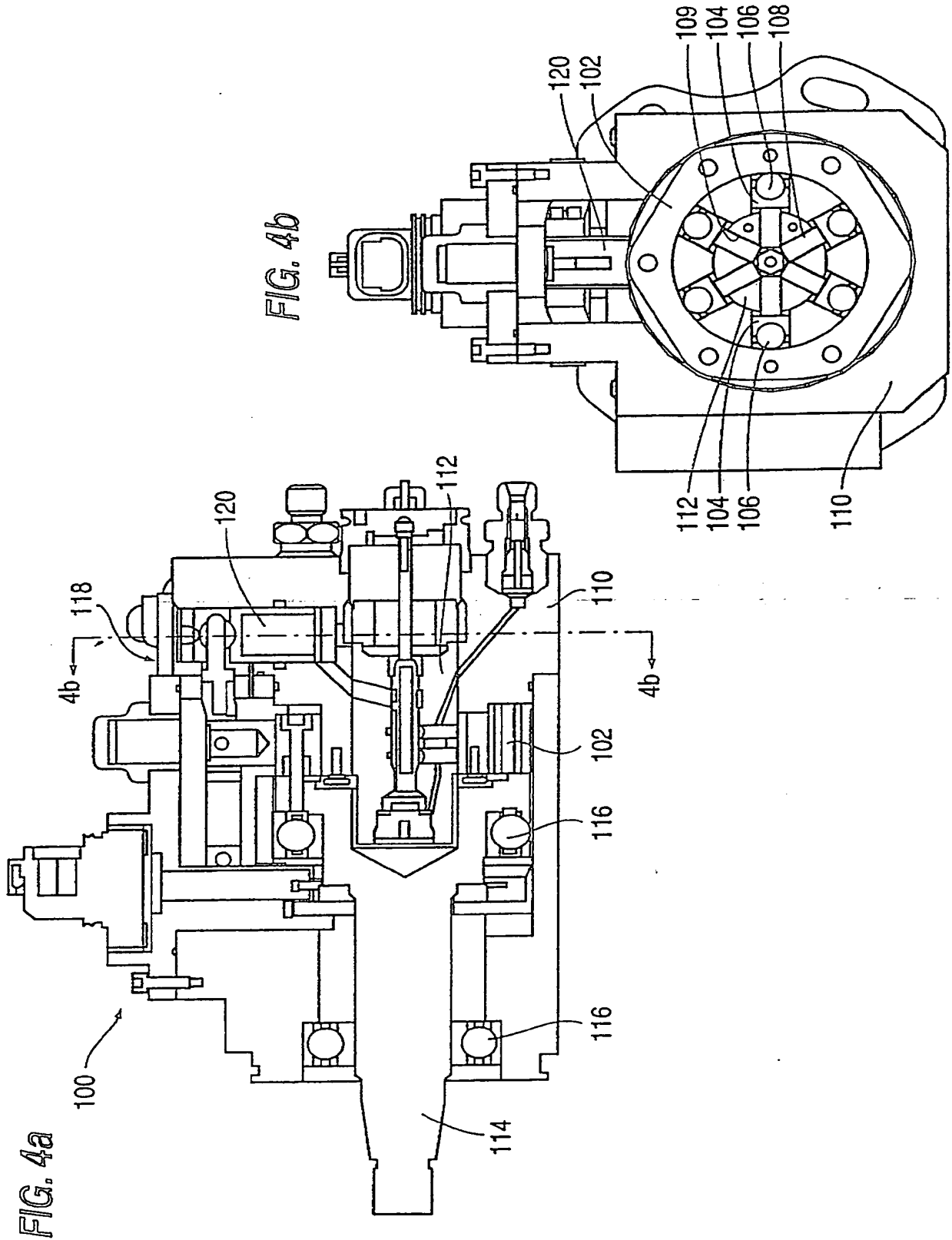




FIG. 7

